

撮像条件の異なる複数の画像を用いた画像の高階調化

近藤秀樹[†] 三枝 亮[†] 橋本周司[†]早稲田大学 理工学部 応用物理学科[†]

1. はじめに

近年、デジタルカメラ、携帯電話、パソコンなどの普及に伴い、デジタル画像を扱う機会が増えつつある。デジタル画像(以後、画像と略す)の精密化に関する研究も進展をみせており、これまでに、高階調ディスプレイを用いて画像を高階調表示する手法や、黒とびや白とびを補正することで、より自然な画像を再現する広ダイナミックレンジの手法などが検討されている[1]。しかしながら、これらの手法では多くの場合、原画像データの階調数が固定されているため、表示時の補正は画像そのものの階調数を高めるものではない。

本研究では、一枚の画像では不十分な階調数の色情報を、同一シーンを異なる撮像条件で得た複数の画像を合成することで高階調化する手法について検討する。

2. 画像の高階調化

画像の高精細化を目的として、画像の空間的な解像度を上げる研究はしばしば行われているが、輝度の解像度(色分解能)をあげるアプローチはあまりなされていない。本研究では、輝度の解像度を向上させることで、色彩表現の豊かな画像の取得を試みる。

輝度の高精細化に関する従来手法では、ユーザーの求める局所領域に対して階調幅を広げるが、階調数が不変なため画像の色彩を十分表現できない。これに対して本手法では、撮像条件の異なる複数の画像から高階調な画像を生成するため、表示時には十分な色表現がなされる。なお、高階調化された画像の表示には、その階調数に見合った輝度の解像度のディスプレイが必要となるが、ここでは、一般的に用いられている最大 24bit 表示可能なディスプレイの使用を想定している。

3. 提案手法

本研究では複数の低階調な画像から高階調な画像を生成する。高階調化の手順を以下に示す。

撮像条件を変えて複数の画像を取得する
(撮像条件：絞り、シャッタースピード、
バイアス光)

複数の取得画像を ブレンド法で合成し、
出力画像(高階調画像)を生成する
(撮像条件を考慮して合成する)

なお、ブレンド法とは、画像同士の対応する画素の輝度値を $(0 < \alpha < 1)$ の割合で足し合わせる操作をいう。提案手法では、同位置の画素を対応画素とした。

4. 実験

提案手法の有効性を検討するために、2枚の低階調画像から高階調画像を生成する実験を行った。

実験では、正解画像(グレースケール画像)から作成した2枚の低階調画像(例：5階調、12階調、30階調などのグレースケール画像)を用いて、高階調画像を生成した(図1)。ここで低階調画像(N 階調)の階調間の幅 p を、式(1)で近似した。また、階調の n 番目の輝度値 l_n を、式(2)とした。

$$p = \frac{255}{N-1} \quad (1) \quad l_n = np \quad (2)$$

$$(n = 0, \dots, N-1)$$

ただし、式(1)において、小数点以下は切り捨てる。また、生成した画像の評価は、正解画像と合成画像の輝度値に関する平均二乗誤差(MSE)とした。

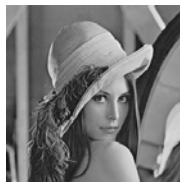


図1 正解画像(256階調)

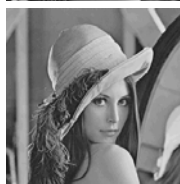


図2 画像A(30階調)



図3 画像B(5階調)

Construction of a high-level image from multiple images with different conditions

[†]Hideki Kondo · Ryo Saegusa · Shuji Hashimoto

e-mail : hideki@shalab.phys.waseda.ac.jp,

ryos@ieee.org, shuji@waseda.jp

Department of Applied Physics, Waseda University

4.1 同階調数で輝度値のずれた画像による高階調化

同階調数の2枚の低階調画像を、一方は式(2)に従って、他方は式(3)に従って生成した。つまり、後者の画像は全画素の輝度値を q 増やして(q ずらして)低階調化されている。これらの低階調画像から高階調画像を生成した。

$$l_n = np + q \quad (n = 0, \dots, N-2) \quad (3)$$

なお、輝度値をずらす操作は、撮影時に撮像面に一樣な光(バイアス光)をあてることに相当する。最適な(元画像に最も近い)画像を生成するためのずらし値 q を求めることが、本実験のねらいである。

まず、階調幅一定、輝度分布一樣、 $\alpha = 0.5$ の条件において q の理論的な最適値を求める。合成後の各々の l_n に対する輝度値の歪みの総和 S を評価関数として、その微分値が0となる q を最適値とすると、結果は式(4)となる(証明は省略する)。つまり、階調のずれが階調幅の半分の場合に最適となる。

$$q = \frac{1}{2} \cdot p \quad (4)$$

実画像による実験結果を図4に示す。実験では α を0.5に固定した図の凡例の()内の値は、それぞれの階調数で理論的に最適なずらし値 q を表す。

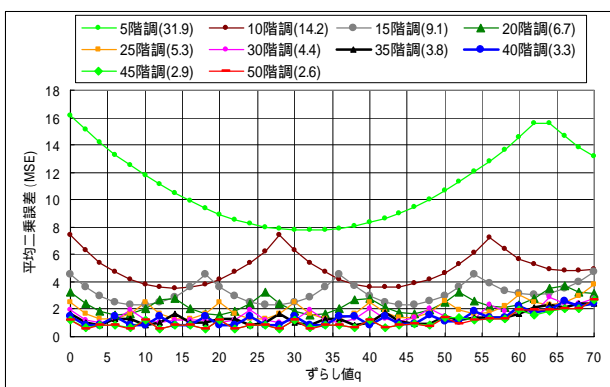


図4 階調 N とずらし値 q の関係

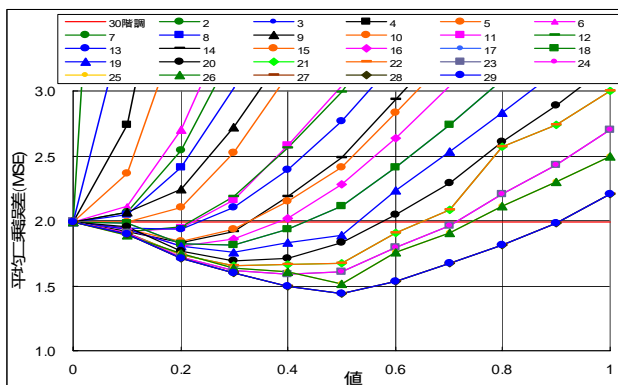


図5 異なる階調合成における q 値の変化

実験より、最適なずらしの理論値と実験値はほぼ一致していることから、同階調数の画像を合成する際には、階調幅 p の半分の値でずらすと最適であるといえる。また、画像の合成によりMSEの値が減少していることから、本手法による画像の高階調化の有効性を確認できる。

4.2 階調数の異なる画像の高階調化

階調数の異なる画像から高階調な画像を生成した。この操作は絞りの調節に相当する。階調数と画像を合成する際の α 値を変化させて、最適な高階調化の条件を検証することが、本実験のねらいである。

実験では、階調を固定した画像Aに(1- α)、階調を変化させた画像Bに α の重みをつけて合成した。本稿では30階調の画像Aと2~29階調に変化させた画像Bで生成した高階調画像のMSEを図5に示す。

実験より、異なる階調の2つの画像を合成しても画質が向上しない場合があり、画像A(30階調)に対し、画像Bの階調数が半分程度以上の場合に画質が向上した。画像Aが他の階調数でも同様の結果が得られた。

画像の輝度分布が一樣な場合、理論的には互いの階調がより近いもの、つまり N と $N+1$ 階調の組み合わせが最適である(証明は省略する)。画像の頻度が一樣で N と $N+1$ 階調の画像を合成するのに最適な α の理論式は式(5)となる。

$$\alpha = \frac{2}{255} \left\{ \frac{N^2(N-1)^2}{N^2 + (N-1)^2} \right\} \left\{ \frac{255}{2(N-1)^2} + \frac{1}{2N(N-1)} \right\} \quad (5)$$

5. まとめ

撮像条件の異なる複数の画像から高階調画像を生成するアルゴリズムを提案し、その有効性を理論および実験により検証した。本稿で述べた2つの実験において、同階調で一方の階調の輝度値をずらす操作は、撮影時にカメラに一樣な照明を当てることに相当し、階調数を変える操作は、カメラの絞り値を変化させることに相当する。

現在、実際に撮像条件を操作して撮像した複数画像を用いて、高階調画像を生成し表示するシステムを作製している。

謝辞

本研究は、21世紀COEプログラム「超高齢化社会における人とロボット技術の共生」、科学技術振興調整費戦略的研究拠点プログラム「先端科学と健康医療の融合研究拠点の形成」、岐阜県WABOT-HOUSEプロジェクトの研究助成を受けて行われた。

参考文献

[1]平井経太, 中口俊哉, 津村徳道, 三宅洋: 視覚モデルに基づいた高ダイナミックレンジ動画の見え再現, 電子情報通信学会, Vol. J89-A, p922-931